

ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТРИ- ТА ОДНОВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НВЧ ФІЛЬТРІВ НИЖНІХ ЧАСТОТ

Скляренко Є. О, магістрант; Зінгер Я. Л., аспірантка;

Нелін Є. А., д.т.н., професор

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

При дослідженні і проектуванні НВЧ пристроїв стандартним є тривимірне електромагнітне моделювання. Тривимірність значно розширює можливості моделювання, але внаслідок складності моделі зв'язок між конструкцією та її характеристиками стає в значній мірі неявним. У результаті ускладнюється або навіть стає неможливим синтез конструкції, що базується на наочності зазначеного зв'язку.

Моделювання доцільно розпочинати з простої моделі, яка наближено враховує основні властивості об'єкта, що моделюється. Така модель безпосередньо, можливо, навіть в аналітичній формі, встановлює зв'язок між конструкцією та її характеристиками, буде наочною, дозволить підготувати вихідні дані для тривимірного аналізу та синтезу конструкції.

Для висновку про можливість використання одновимірної моделі для НВЧ фільтрів нижніх частот порівняємо результати три- та одновимірного моделювання фільтрів, виконаних на основі традиційних планарних структур (на прикладі фільтра з [1]) та тривимірних електромагнітнокристалічних (ЕК) неоднорідностей [2].

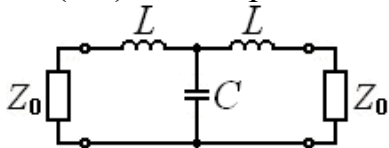


Рисунок 1. Фільтр нижніх частот.

На рис. 1 приведено схему фільтра. Параметри фільтра: гранична частота смуги пропускання 1 ГГц, пульсації у смугі пропускання 0,1 дБ, $Z_0 = 50$ Ом, характеристика Чебишова, $L = 8,209$ нГн, $C = 3,652$ пФ.

Рис. 2 ілюструє конструкції фільтрів зі збереженням відносних розмірів. Довжини фільтрів дорівнюють 32,73 і 23 мм.

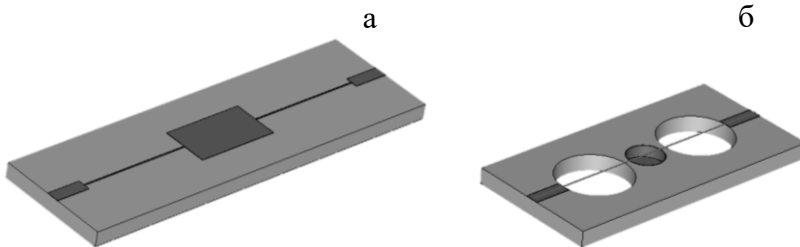


Рисунок 2. Конструкції фільтрів на основі традиційних (а) та тривимірних ЕК-неоднорідностей (б).

В традиційній конструкції квазісосереджені індуктивності та ємність реалізовані вузькими та широким відрізками смужкового провідника відповідно з високим та низьким хвильовим імпедансом. В фільтрі на основі ЕК-неоднорідностей високоімпедансна неоднорідність — наскрізний отвір з нависним дотовим провідником, низькоімпедансна — глухий металізований отвір з боку сигнального провідника.

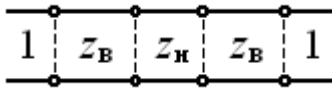


Рисунок 3. Одновимірна модель фільтра. 1 і $z_{B, H}$ — нормовані хвильові імпеданси лінії і елементів фільтра, індекси «В» та «Н» відповідають високому та низькому імпедансам.

На рис. 3 приведено одновимірну модель фільтра у вигляді неоднорідної лінії передачі. Виходячи з цієї моделі у результаті перетворень для амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) фільтра отримаємо:

$$H = 2 \sqrt{\frac{x^2 + yz}{4x^2 + (y + z)^2}}, \quad (1)$$

$$\text{де } x = 1 - z_B g_B (z_B^{-1} g_B + z_H^{-1} g_H) - z_B^{-1} z_H g_B g_H;$$

$$y = z_B^{-1} g_B (2 - z_B^{-1} z_H g_B g_H) + z_H^{-1} g_H;$$

$z = z_B g_B (2 - z_B^{-1} z_H g_B g_H) + z_H g_H$, $g_{B, H} = \operatorname{tg} \varphi_{B, H}$, $\varphi_{B, H} = \beta_{B, H} l_{B, H}$, $\beta_{B, H}$ — хвильове число, $l_{B, H}$ — довжина елемента фільтра.

На рис. 4 приведено АЧХ фільтрів. Тривимірне моделювання виконано в програмному пакеті CST Microwave Studio. АЧХ згідно одновимірної моделі визначає вираз (1). Параметри одновимірної моделі фільтра традиційної конструкції відповідають [1].

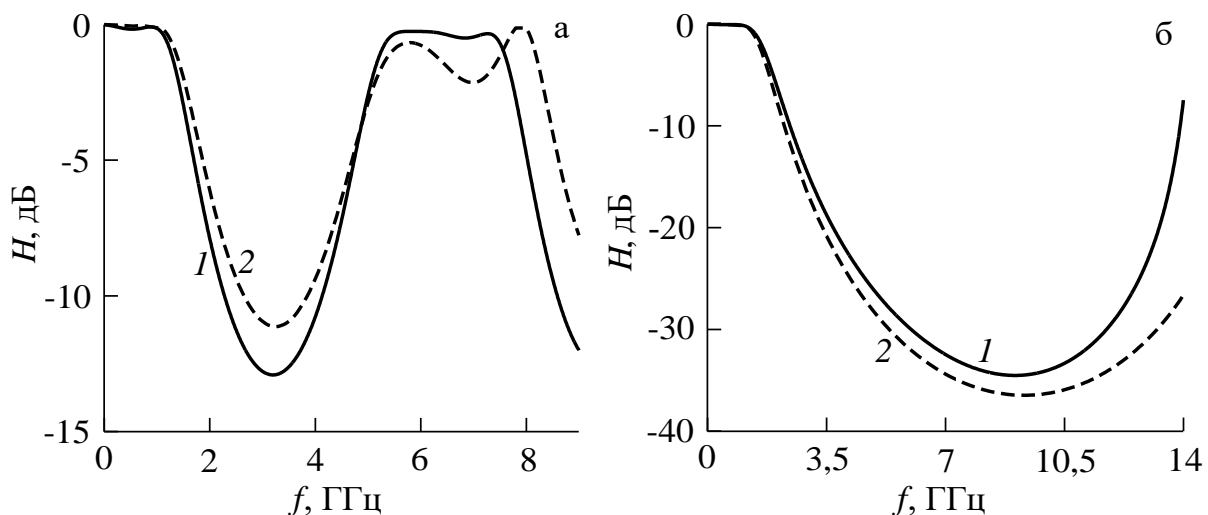


Рисунок 4. АЧХ фільтрів традиційної конструкції (а) та на основі ЕК-неоднорідностей (б) згідно три- (1) та одновимірної (2) моделей.

Знайдемо параметри одновимірної моделі фільтра на основі ЕК-неоднорідностей.

Конструктивні параметри ЕК-неоднорідностей такі: діаметри 6 і 3 мм відповідно високо- та низькоімпедансної (їх прийнято як $l_{B, H}$), глибина отвору низькоімпедансної — 1 мм, діаметр нависного дровового провідника — 0,1 мм. Матеріал основи — Rogers RO3010, товщина $h = 1,28$ мм, відносна діелектрична проникність $\varepsilon = 10,2$, тангенс кута діелектричних втрат 0,0023 на частоті 10 ГГц, товщина металізації 0,035 мм.

Згідно графіків, приведених в [3], цим конструктивним параметрам відповідають такі електричні: еквівалентні хвильові імпеданси

$Z_B = 240 \text{ Ом}$, $Z_H = 8,5 \text{ Ом}$, $L = 6,17 \text{ нГн}$, $C = 3,45 \text{ пФ}$. Як і у фільтрі традиційної конструкції значення параметрів квазізосереджених елементів менші у порівнянні з зосередженими внаслідок впливу реактивностей, які не враховуються в моделях квазізосереджених елементів.

Мікросмужкові квазізосереджені індуктивність та ємність визначаються формулами [1]

$$L = \frac{Z_B l_B}{v_B}, \quad C = \frac{l_H}{Z_H v_H}, \quad (2)$$

де $v_{B,H}$ — фазова швидкість. Оскільки $v_{B,H} = c / \sqrt{\epsilon_{B,H}}$, де c — швидкість світла у вакуумі, формули (2) дозволяють знайти еквівалентні відносні діелектричні проникності $\epsilon_{B,H}$. При зазначених вище параметрах $\epsilon_B = 1,6$ та $\epsilon_H = 8,6$.

Враховуючи близькість характеристик 1 і 2, можна зробити висновок про прийнятність одновимірної моделі як моделі першого наближення при моделюванні НВЧ фільтрів нижніх частот. Одновимірна модель дозволяє окремі елементи фільтра (навіть такі складні як ЕК-неоднорідності) характеризувати еквівалентними хвильовим імпедансом та відносною діелектричною проникністю. Становить інтерес можливість використання одновимірної моделі для фільтрів з іншими АЧХ.

Перелік посилань

1. Hong J.-S. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / J.-S. Hong. — N. Y.: Wiley, 2011. — 656 p.
2. Nelin E. Microwave filter based on crystal-like reactive elements / E. Nelin, Y. Zinher // Перша науково-технічна конференція «РадіоЕлектроніка та ІнфоКомунікації», Україна, Київ, 11 – 16 вересня 2016 р. — С 53–56.
3. Биденко П. С. Квазисосредоточенные реактивные элементы на основе кристаллоподобных неоднородностей / П. С. Биденко, Е. А. Нелин, А. И. Назарько, Ю. Ф. Адаменко // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2015. — № 11. — С. 49–55.

Анотація

Виконано порівняння частотних характеристик НВЧ фільтрів нижніх частот згідно три- та одновимірної моделей. Встановлена можливість використання одновимірної моделі як моделі першого наближення.

Ключові слова: фільтр нижніх частот, тривимірна модель, одновимірна модель.

Аннотация

Выполнено сравнение частотных характеристик СВЧ фильтров нижних частот согласно три- и одномерной моделей. Установлена возможность использования одномерной модели как модели первого приближения.

Ключевые слова: фильтр нижних частот, трехмерная модель, одномерная модель.

Abstract

A comparison of microwave low-pass filters frequency characteristics according to three- and one-dimensional models is fulfilled. The possibility of the one-dimensional model using as a model of the first approximation is established.

Keywords: low-pass filter, three-dimensional model, one-dimensional model.